

**Ю. А. Ежов<sup>\*</sup>, Л. М. Железняк, Е. Ю. Слукин**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург

<sup>\*</sup> *rutizar22@yandex.ru*, *e.a.anderiukova@urfu.ru*, <sup>\*\*</sup> *j.n.loginov@urfu.ru*

Научные руководители – доценты, канд. техн. наук *Е. Ю. Слукин, Л. М. Железняк*,  
проф., д-р техн. наук *Ю. Н. Логинов<sup>\*\*</sup>*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОВКИ СЛИТКА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ МАРКИ Р6М5

При разработке технологических режимов ковки слитков из быстрорежущей стали Р6М5 было проведено моделирование четырех основных технологических операций с применением программного комплекса QForm v8, даны рекомендации по назначению режимов ковки.

*Ключевые слова:* ковка, быстрорежущие стали, температурный диапазон, метод конечных элементов.

***Y. A. Ezhov, L. M. Zheleznyak, E. Y. Slukin***

## MODELING OF THE CURRENT OF THE COLLAR OF THE QUICK STAINLESS STEEL OF THE R6M5 MARK

When developing technological regimes for forging ingots from high-speed steel P6M5, four basic technological operations were simulated using the QForm v8 software package, and recommendations were given on the design of forging regimes.

*Ключевые слова:* forging, high-speed steels, temperature range, finite element method.

Применение горячей ковки в металлургии и машиностроении предопределено двумя основными задачами: осуществить формоизменение металла и улучшить его структуру для повышения механических характеристик. Проблемой является подбор таких режимов ковки, при которых металл будет сохранять приемлемый уровень пластичности в течение всего этого многопереходного процесса. Быстрорежущая сталь Р6М5 обладает невысоким уровнем пластических свойств [1, 2], поэтому необходимо создать такой температурно-деформационный режим обработки, при котором она не будет подвергаться разрушению [3]. Вместе с тем, есть предложения из-за трудностей, возникающих при ковке стали, отказаться от ее проведения и применять только в литом состоянии [4], либо получать методами

порошковой металлургии [5]. Если же методы обработки давлением применять, то предполагается, что сталь такого типа должна подвергаться не менее 10–12-кратному укову для придания ей достаточной однородности и более или менее благоприятного распределения карбидов.

Наиболее экономичным вариантом подбора параметров является математическое моделирование, которое в последнее время осуществляется с помощью пакетов прикладных программ, основанных на применении метода конечных элементов [6].

Для выполнения расчета применен программный комплекс QFORM, хорошо себя зарекомендовавший при анализе кузнечных операций [7].

Использована следующая постановка задачи: проковать цилиндрический слиток из стали марки Р6М5 диаметром 140 мм и высотой 270 мм с целью ликвидации в его структуре карбидной сетки и по завершенииковки придать поковке первоначальные размеры слитка (ориентировочно). Начальная температура заготовки (распределена равномерно) равна 1100 °С.

Технологическая схема включала следующие операции:

- осадка;
- первый этап протяжки;
- второй этап протяжки;
- третий этап протяжки.

На рис. 1 представлено распределение полей температур заготовки в процессе осадки, откуда видно, что нижний торец заготовки сильно захлаживается.

Можно сделать вывод, что после третьего удара необходима кантовка заготовки на 180°. Также перед началомковки рекомендуется нанести на нижний боек теплоизолирующую смазку, например, стеклянный порошок, т. к. стеклосмазки способствуют снижению трения, улучшению качества поверхностей изделий, увеличению стойкости инструмента и уменьшению теплотерь.

При осадке наблюдается высокий уровень интенсивности напряжений (рис. 2) на периферии нижнего торца цилиндра, что может привести к трещинообразованию вследствие действия термических напряжений в зоне резкого перепада температур металла, которые накладываются на напряжения, возникающие в металле при ковке.

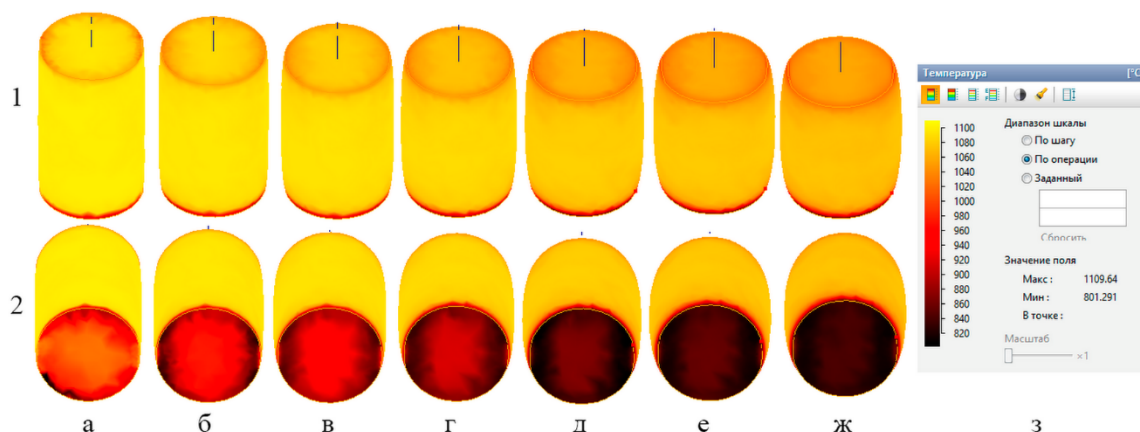


Рис. 1. Расчетные температурные поля при ковке: 1 – вид со стороны верхнего бойка; 2 – вид со стороны нижнего бойка; а–ж – удары с 1 по 7; з – шкала температур (градусы Цельсия)

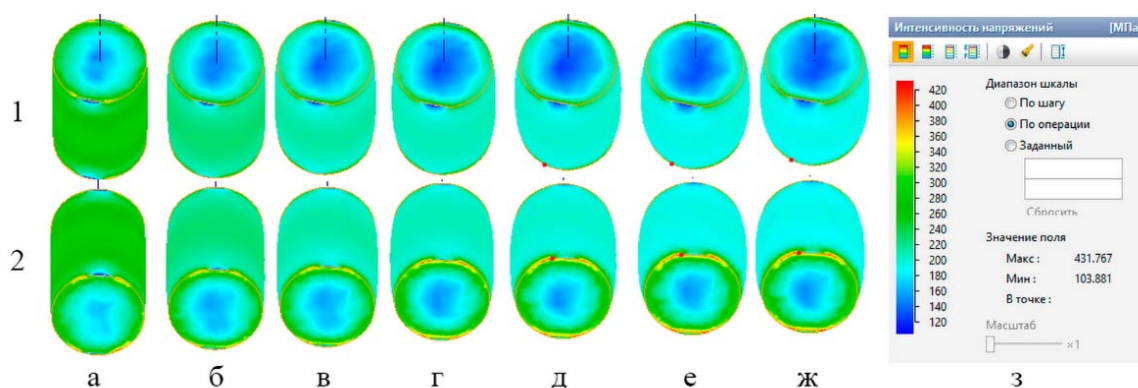


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений: 1 – вид со стороны верхнего бойка; 2 – вид со стороны нижнего бойка; а–ж – удары с 1 по 7; з – шкала интенсивности напряжений, МПа

Анализ распределения интенсивности напряжений при кузнечной протяжке показал, что значительная концентрация напряжений наблюдается на границах контакта поверхностей заготовки и бойков. Особое внимание следует уделить интенсивностям напряжений на контакте с нижним бойком по завершению последних четырех ударов. На границах контакта, особенно ближе к верхнему торцу заготовки, наблюдаются значительные концентрации напряжений, что может привести к трещинообразованию.

С учетом рекомендаций была составлена технологическая схемаковки стали Р6М5 и проведен производственный эксперимент на молоте с массой падающих частей 1000 кг. Данные эксперимента, в основном, согласуются с данными расчетов.

Несмотря на наличие отрывочных сведений [8], на сегодняшний день не до конца ясным остается вопрос, насколько быстро проходит динамическая и статическая рекристаллизация стали Р6М5. Наличие

ответа на этот вопрос позволило бы более обоснованно назначать параметры упрочнения стали при каждом ударе молота и при смене вида ковки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка. Москва : Металлургия, 1982. 312 с.
2. Fu H.-G. Structures and properties of modified M2 cast high speed steel. Hangkong Cailiao Xuebao/ H.-G. Fu, J.-D. Xing // Journal of Aeronautical Materials. 2003. 23(1). P. 7–10.
3. Хайдоров А. Д. Влияние термоциклической обработки на структуру литой быстрорежущей стали Р6М5-Ш. / А. Д. Хайдоров, С. Ю. Кондратьев // Металловедение и термическая обработка металлов. 2011. № 6. С. 42–47.
4. Исследование структуры и свойств модифицированной стали Р6М5. / В. В. Акимов [и др.] // Омский научный вестник. 2015. № 137. С. 19–22.
5. Processing of M2 powder metallurgy high-speed steel by means of starch consolidation / Romano P. [et al.] // Materials Science and Engineering: A. 2006. V. 419. Iss. 1–2. P. 1–7.
6. Логинов Ю. Н. Метод конечных элементов в описании напряженно деформированного состояния процесса прессования / Ю. Н. Логинов, В. В. Котов. Екатеринбург : УрФУ. 2010. 320 с.
7. Ершов А. А. Оценка последствий разупрочнения металла в процессе горячей деформации с применением программного комплекса QFORM V8. / А. А. Ершов, Ю. Н. Логинов, С. Л. Демаков // Metallurg. 2015. № 8. С. 31–34.
8. Imbert C. A. C. Dynamic recrystallization of A2 and M2 tool steels. / C. A. C. Imbert, H.J. McQueen // Materials Science and Engineering: A. 2001. V. 313. Iss. 1–2. P. 104–116.